

AMBIENTE BASEADO EM EMOÇÕES PARA INTERAÇÃO HUMANO-ROBÔ

CAETANO MAZZONI RANIERI* HUMBERTO FERASOLI FILHO† ROSELI APARECIDA FRANCELIN ROMERO*

*Av. Trabalhador São-carlense, 400, Arnold Schmidt, 13566-590
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo (ICMC-USP)
São Carlos, São Paulo, Brasil

†Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01, Presidente Geisel, 17033-360
Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista (FC-UNESP)
Bauru, São Paulo, Brasil

Email: cmranieri@usp.br; ferasoli@fc.unesp.br; rafrance@icmc.usp.br

Abstract— Among other functions, emotions are significantly relevant to enrich interactions between human beings. Advances in solutions for the emotion recognition problem have led to the development of applications in social robots, which often explore the concept of empathy. In this research, we have implemented a virtual character for Android smartphones, with an adaptive architecture that modifies its behavior according to the human's emotion, recognized by facial expressions' analysis.. We have performed user studies, concluding that the proposed strategy influences positively the user's ability to feel empathy towards the virtual character.

Keywords— Social robots, Emotions, Affective computing, Mobile devices.

Resumo— Entre outras finalidades, emoções são significativamente relevantes para enriquecer as interações entre seres humanos. Com os avanços em soluções para o problema do reconhecimento de emoções, algumas aplicações dentro da robótica social têm despontado, muitas vezes explorando a ideia de empatia. Neste trabalho, foi implementada uma personagem virtual para *smartphones* Android, com uma arquitetura adaptativa que modifica seu comportamento conforme a emoção reconhecida por análise das expressões faciais. Estudos com usuários foram conduzidos, concluindo que a estratégia proposta influencia positivamente a habilidade de um usuário humano sentir empatia diante da personagem virtual.

Palavras-chave— Robótica social, Emoções, Computação afetiva, Dispositivos móveis.

1 Introdução

Um aspecto importante para o sucesso da espécie humana tem sido a sua eficiência em comunicar-se. Embora a componente verbal dessa comunicação seja importante, parte da informação trocada entre seres humanos ocorre de outras maneiras. Gestos corporais, expressões faciais e diferentes entonações vocais, por exemplo, podem acrescentar significado a comunicações verbais, ou mesmo substituí-las. Esse papel das emoções na comunicação entre indivíduos foi apresentado por Charles Darwin, em seu clássico *The Expression of the Emotions in Man and Animals* (Darwin et al., 1998). Os princípios apresentados na obra têm sido pouco examinado em pesquisas contemporâneas em emoções, entretanto as ideias que levaram à sua elaboração foram e são bastante influentes no desenvolvimento da área (Hess and Thibault, 2009).

Ainda que emoções estejam presentes nas diferentes formas de comunicação entre seres humanos, a interação entre o ser humano e sistemas computacionais ainda é essencialmente não emocional. A importância de se incorporar emoções em ambientes dessa natureza, todavia, tem sido apontada já há algum tempo (Picard, 2000). Com reconhecedores de emoção cada vez mais confiáveis (Kahou et al., 2013), pesquisas envolvendo a aplicação desses sistemas já estão se desenvolvendo.

Na robótica social, reconhecer o estado afetivo de um humano pode ser de grande importância, sobretudo em aplicações que produzem relacionamentos mais íntimos entre o indivíduo e o robô, como acompanhantes para idosos ou tutores para crianças. Nesse contexto, estudos têm investigado reações emocionais dos seres humanos diante de robôs, em diferentes situações (Darling et al., 2015; Jo et al., 2013; von der Putten et al., 2013). Outros têm avaliado como a seleção comportamento baseado na detecção de emoção pode influenciar o sentimento de empatia para com os agentes robóticos (Leite et al., 2012).

Estendendo estes trabalhos, nossa proposta foi projetar e desenvolver um agente virtual personificado e dotá-lo de estratégias baseadas em reconhecimento de emoções para interação humano-robô, aproveitando as vantagens e conveniências oferecidas pelos dispositivos móveis. Para isso, foi implementada uma personagem virtual, dotada de um conjunto de comportamentos adaptáveis, e o agregamos a um aplicativo para *smartphones* Android. Repetidamente, durante toda a interação, a aplicação obtém uma imagem da face do usuário, através da câmera frontal do *smartphone*, e chama o reconhecedor de emoções, desenvolvido em uma pesquisa prévia (Libralon and Romero, 2013), para analisar a sua expressão e inferir-lhe o estado emocional. Como resposta às emoções reconhecidas, a personagem pode manifestar um dentre dois

paradigmas de interação: *normal* e *amigável*. O paradigma *normal*, direcionado a estados emocionais negativos, é impessoal e emocionalmente neutro, enquanto o paradigma *amigável*, direcionado a estados emocionais positivos, é extrovertido e emocionalmente alegre.

Não se está propondo tomar a resposta emocional do usuário para inferir algum tipo de significado semântico adicional na interação, tampouco introduzir informação na forma de emoções artificiais sintetizadas pelo sistema. Em vez disso, a emoção detectada do usuário é mapeada para um padrão de comportamento, a fim de aprimorar a percepção do usuário a respeito do agente virtual ou robótico com quem está interagindo. Isso pode ser importante em situações que requeiram maior engajamento do usuário, como guias robóticos em museus, ou em robôs projetados para convívio social, como educadores para crianças ou acompanhantes para idosos.

Este artigo está organizado conforme segue. Na Seção 2, alguns trabalhos relacionados serão discutidos. Na Seção 3, será descrito o reconhecedor de emoções adotado neste trabalho. A aplicação desenvolvida será apresentada na Seção 4. Na Seção 5, os experimentos realizados serão descritos, junto a seus resultados e uma discussão. Finalmente, na Seção 6, considerações finais e trabalhos futuros serão apresentados.

2 Trabalhos Relacionados

Alguns trabalhos têm investigado de que maneiras o sentimento de empatia diante de robôs pode se manifestar em humanos. É o caso de von der Putten et al. (2013), que realizou um estudo do tipo *entre sujeitos* com 41 participantes, considerando quatro condições em uma configuração experimental 2x2 (dois fatores, cada qual com duas condições). Todos os participantes assistiram a vídeos do dinossauro robótico Ugobe's Pleo. Os dois fatores foram o tipo de vídeo e a existência de interação prévia com o robô. O tipo de vídeo poderia ser uma interação amigável entre um humano e o robô ou uma sessão de tortura, em que o robô era a vítima. Medições fisiológicas e reações emocionais auto-reportadas revelaram que participantes que assistiram ao vídeo de interação amigável experimentaram emoções suaves e positivas, enquanto os participantes que assistiram ao vídeo de tortura experimentaram emoções intensas e negativas, relatando ter sentido empatia.

Darling et al. (2015) realizaram um experimento desta mesma natureza, também do tipo *entre sujeitos*, para verificar o quanto alguns fatores poderiam influenciar o tempo de hesitação dos participantes humanos para cumprir a tarefa de destruir um inseto robótico com uso de uma marreta. O primeiro fator era mostrar uma história do robô antes de apresentá-lo, enquanto o

segundo fator era fazê-lo executar um curto movimento. Um conjunto de 101 participantes foi dividido em seis grupos, em uma configuração experimental 3x2. Para o primeiro fator, foram consideradas três condições: sem história, uma história com um elemento personificação (por exemplo, um nome foi atribuído ao robô) ou uma história sem o elemento personificação. Duas condições possíveis foram considerados no segundo fator, que eram se o robô se moveu-se ou não no início da sessão. Os autores mediram o intervalo entre o pedido para destruir o robô e a iniciativa do participante em executar a ação, interpretado como *hesitação*. Os resultados mostraram que ambas as condições do fator *história* aumentaram significativamente a hesitação, em comparação com a condição controle (sem história). O fator *movimento* não mostraram alterações significativas na média.

Jo et al. (2013) investigaram se humanos são capazes de perceber robôs como verdadeira companhia, conduzindo um experimento, de configuração 2x2, com 37 estudantes universitários. Eles consideraram um fator *entre sujeitos* e um fator *intra-sujeito*. Os participantes assistiram a dois vídeos presumivelmente engraçados. No primeiro vídeo, foram introduzidos risos gravados nas partes supostamente engraçadas, tratamento que não foi dado ao segundo vídeo. Na seção em que o primeiro vídeo foi exibido, os voluntários permaneceram sozinhos na sala, enquanto, na exibição do segundo vídeo, foi introduzida uma companhia humana ou de um robô NAO. A presença de companhia na sala era o fator *intra-sujeito*, enquanto o fato de essa companhia ser humana ou de um robô era o fator *entre sujeitos*.

Os trabalhos mencionados acima mostraram que, em dadas circunstâncias, humanos podem sentir empatia diante de robôs. von der Putten et al. (2013) e Darling et al. (2015) observaram reações emocionais produzidas por humanos em resposta a certas situações com robôs, enquanto Jo et al. (2013) avaliaram a satisfação produzida pela companhia de um robô, em comparação com uma companhia humana. Essas pesquisas, todavia, não investigaram como modificações no comportamento do robô poderiam afetar tais sensações. Para produzir pesquisas nessa direção, faz-se necessário o desenvolvimento de ambientes adaptativos.

É o que foi realizado por Leite et al. (2012), que criaram um ambiente em que o robô iCat jogava xadrez contra crianças. O sistema inferia o estado emocional da criança através de suas expressões faciais, obtidas por uma *webcam*, e poderia desempenhar algumas estratégias de empatia, como fazer comentários encorajadores, oferecer ajuda ou deliberadamente realizar uma má jogada. Participou do experimento um conjunto de 40 crianças, todas com idade entre 8 e 10 anos.

Elas foram divididas em três condições de controle: *neutral* (nenhuma estratégia de empatia), *random-empathic* (quando a criança estava experimentando uma emoção negativa, uma estratégia de empatia era selecionada aleatoriamente) e *adaptive-empathic* (quando a criança estava experimentando uma emoção negativa, uma estratégia de empatia era selecionada usando um algoritmo de aprendizado por reforço). Os resultados mostraram que as estratégias de empatia afetaram positivamente a percepção do robô pelas crianças, de modo que as condições *random-empathic* e *adaptive-empathic* foram mais bem recebidas do que a condição *neutral*. Além disso, a condição *adaptive-empathic* produziu melhores resultados do que a condição *random-empathic*.

O trabalho apresentado neste artigo difere de Leite et al. (2012) na medida em que modifica as pistas verbais e não-verbais emitidas na manifestação dos comportamentos de acordo com o estado emocional, não se restringindo a afetar o mecanismo de seleção dos comportamentos.

3 Reconhecedor de Emoções

As abordagens propostas para reconhecimento de emoções podem considerar diferentes pistas acerca da emoção que a pessoa está experimentando, como respostas neurológicas, atividade autonômica, expressões faciais ou entonação vocal (Brave and Nass, 2002). Os modelos de emoções disponíveis, para os quais a emoção reconhecida deve ser mapeada, podem ser classificados em duas categorias: discretos (um conjunto finito de emoções bem definidas) (Ekman, 1999) ou contínuos (um espaço dimensional com variáveis contínuas atribuídas a diferentes propriedades da emoção) (Russell et al., 2014).

O reconhecedor de emoções adotado na nossa aplicação é produto de uma pesquisa prévia (Libralon and Romero, 2013), de modo que seu desenvolvimento não faz parte do projeto aqui apresentado. O sistema recebe, como entradas, imagens frontais de faces humanas, e as classifica em uma dentre sete emoções. Seis delas são as emoções básicas propostas por Ekman (1999): alegria, surpresa, medo, raiva, aversão e desgosto. A sétima é a emoção neutra.

A biblioteca *FaceTracker* (Saragih et al., 2009), aplicada no sistema para extração de características, obtém pontos de interesse na imagem, como regiões do nariz, da boca, das sobrancelhas e do queixo. O reconhecedor, então, computa as razões entre as distâncias e ângulos de pares desses pontos, conforme ilustrado na Figura 1, e as armazena em um vetor de características. Esse vetor é usado como entrada para uma técnica de aprendizado de máquina.

Seis diferentes vetores de características e três técnicas de aprendizado de máquina (MLP, SVM

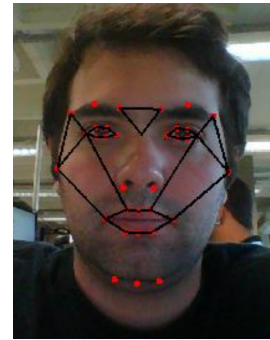


Figura 1: Pontos, distâncias e ângulos considerados pelo reconhecedor de emoções.

e C4.5) são disponibilizados para uso. Uma discussão detalhada sobre como o sistema prepara cada vetor de características, bem como comparações entre todas as combinações entre vetores de características e técnicas de classificação, são apresentados em Libralon and Romero (2013). As técnicas de aprendizado foram treinadas com duas bases de dados: *Radboud Faces Database* (RaFD) (Langner et al., 2010) e *Extended Cohn-Kanade* (CK+) (Lucey et al., 2010).

4 Sistema Proposto

Como já mencionado, foi desenvolvido uma personagem virtual, agregada a um aplicativo para *smartphones* Android. O aplicativo foi dotado de uma interface por fala, desenvolvida com aplicação das bibliotecas para reconhecimento e síntese de fala nativas do Android. Foi provida, também, uma interface por texto, disponibilizada para o usuário. A interação se baseou em comandos e sentenças pré-definidos, não tendo sido aplicado processamento de linguagem natural.

A personagem sempre se comporta segundo um dos dois paradigmas já mencionados (*amigável* ou *normal*), selecionado com base nas últimas saídas do reconhecedor de emoções. Dessas saídas, que consistem em emoções do modelo de Ekman (1999), são consideradas as somente as suas polaridades: positiva, negativa ou neutra. A emoção *alegria* tem polaridade positiva, enquanto as emoções *neutra* e *surpresa* têm polaridade neutra, e as demais (*tristeza*, *raiva*, *aversão* e *medo*) têm polaridade negativa, conforme mapeado em Russell et al. (1989). Se a emoção inferida tem polaridade positiva, o paradigma de interação é modificado para *amigável*. Se a emoção é negativa, é modificado para *normal*. Se é neutra, o paradigma de interação não é modificado.

Conforme ilustra a Figura 2, o paradigma de interação determina uma pequena alteração na representação visual da personagem. Na estratégia *amigável*, ela apresenta um leve sorriso, enquanto, na estratégia *normal*, ela exibe uma expressão neutra. Essa representação, associada ao

mecanismo de seleção do paradigma, assemelha-se reproduzir o estado emocional inferido do usuário.

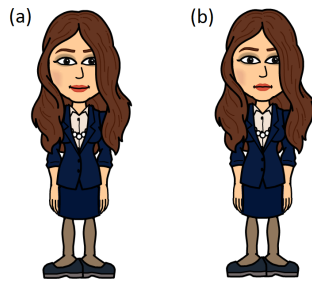


Figura 2: Personagem virtual, nos paradigmas (a) *amigável* e (b) *normal*.

Quanto ao comportamento, os paradigmas se diferem pelas diferentes frases elaboradas para tratar de uma mesma situação. No paradigma *amigável*, são emitidas orações em primeira pessoa, em conjunto com expressões de cortesia revelando proximidade. Já no paradigma *normal*, a linguagem é impessoal, com orações em terceira pessoa e frases mais concisas. Por exemplo, em uma dada situação a personagem no paradigma *amigável*, diria "Ficaria feliz em ajuda-lo. Posso mostrar os comandos disponíveis?", enquanto, no paradigma *normal*, diria "Mostrar comandos disponíveis?".

4.1 Arquitetura do Ambiente

Três módulos compõem o ambiente proposto, conforme ilustrado na Figura 3. O primeiro deles é o reconhecedor de emoções, já detalhado na Seção 3. O motor de interação agrega o reconhecedor e o sintetizador de fala, a interface por texto e a representação visual da personagem, sendo responsável não somente por selecionar o paradigma de interação, como também por apresentar o conteúdo ao usuário e dele receber comandos. O motor de conteúdo, por outro lado, é responsável pela seleção dos comportamentos, de acordo com a aplicação que estiver desempenhando. O sistema foi projetado tendo em vista sua escalabilidade, portanto, para adicionar-lhe funcionalidades, somente o motor de conteúdo deve ser modificado.

Para este trabalho, duas aplicações foram desenvolvidas para o motor de conteúdo. Uma delas é um noticiário, dotado de um rudimentar sistema de recomendação de notícias. A outra é um jogo com estratégias de empatia, o qual foi utilizado para a realização dos experimentos. Por esse motivo, essa aplicação será apresentada em detalhes na subseção seguinte.

4.2 Jogo

Foi implementado um jogo de palavras clássico chamado *Doublets*, o qual não requer uma interface gráfica dedicada. As regras são as seguintes:

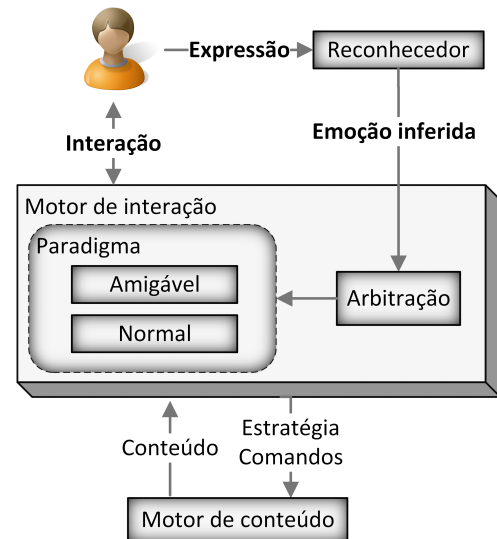


Figura 3: Arquitetura do ambiente proposto, compreendida por usuário, reconhecedor de emoções, motor de interação e motor de conteúdo.

dadas duas palavras *A* e *B*, iniciar pela palavra *A* e modifica-la uma letra de cada vez, de modo que cada alteração resulte, sempre, em uma palavra existente no vocabulário do idioma em que se estiver jogando, até se chegar à palavra *B*. Não se trata de um jogo competitivo, portanto a personagem atua junto ao usuário na condição de companhia.

Para avaliar a estratégia de interação, três comportamentos proativos foram introduzidos, sendo eles *proferir comentários encorajadores*, *dar informações gerais*, como quantas palavras o usuário já atingiu, e *sugerir uma palavra viável*. Embora a decisão de tomar iniciativa seja tomada com base em uma variável aleatória de distribuição uniforme, um algoritmo de aprendizado por reforço arbitra a seleção do comportamento.

O processo de arbitração é modelado como um *multi-armed bandit problem*, um algoritmo de aprendizado por reforço que consiste em, dado um conjunto finito de estratégias possíveis, chamadas *máquinas de apostas*, escolher a próxima máquina, de modo a maximizar a recompensa média recebida (Auer et al., 2002). A recompensa, no caso de nossa aplicação, é calculado com base na alteração do estado emocional detectada logo após a exibição do comportamento.

5 Experimentos e Resultados

Foram conduzidos experimentos com usuários para validar a arquitetura apresentada e para testar se a estratégia de interação proposta produz uma interação prazerosa, bem como se ela faz com que os usuários sintam mais empatia diante da personagem. Como controle, foi experimentada uma versão do aplicativo em que a estratégia

de interação exibe somente a estratégia *amigável*. Para facilitar a explicação, atribuímos nomes arbitrários a cada versão do jogo. A versão completa, com a estratégia de interação proposta, foi chamada Claire, enquanto a versão controle foi denominada Rachel. Portanto, a hipótese em questão é que, ao associar o primeiro caso a emoções positivas e o segundo a emoções negativas,   produzida uma interação mais adequada do que ao aplicar somente um paradigma.

5.1 Configuração Experimental

Um experimento foi realizado nos dias 14 e 15 de janeiro de 2016 no Laboratório de Integração de Sistemas e Dispositivos Inteligentes (LISDI) e no Laboratório de Extensão e Pesquisa em Computação (LEPEC) da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (FC/UNESP). Todos os 11 participantes eram estudantes do curso de Ciência da Computação, com idade entre 18 e 21 anos. Um termo de consentimento esclarecido foi requerido para todos eles. Foi aplicada uma abordagem intra-sujeito, isto é, cada participante usou e avaliou as duas versões do aplicativo. O experimento, entretanto, foi contra-balanceado, isto  , metade dos participantes experimentou primeiro Claire, depois Rachel, e a outra metade fez o contrário.

Após interagir com cada uma das versões do aplicativo, por período de tempo ilimitado, os participantes responderam a um questionário, cujas respostas deveriam ser avaliações de 1 a 5 para determinadas características esperadas da personagem. Cada participação individual tomou cerca de 25 minutos. Dada a natureza intra-sujeito do experimento, as m dias das diferenças das avaliações de cada versão do aplicativo foram analisadas, com uso de um teste t pareado.

5.2 Resultados e Discussão

Com aplicação do teste Kolmogorov-Smirnov de aderência à normalidade, verificou-se que a distribuição normal   um bom ajuste para as amostras, sob nível de significância $\alpha = 0,05$. Os resultados, apresentados na Tabela 1 foram interessantes no que concerne à habilidade de despertar empatia. As demais características tomadas no questionário relacionaram-se a características desejáveis atribuídas à personagem, como apresentado e discutido em Bartneck et al. (2009). Essas características são o realismo, a agradabilidade, a gentileza e a competência atribuídos   agente virtual. O objetivo foi verificar se, embora a representação da personagem fosse um mesmo desenho caricatural nas duas versões, a alteração de comportamento conferida pela estratégia de interação alterasse a percepção dessas características. Como se pode observar, entretanto, isso não ocorreu.

Tabela 1: Resultados das avaliações, contendo as diferenças das m dias das duas condições, o desvio-padrão e o valor-p obtido do teste-t aplicado sobre elas.

Característica	M�dias	Desvio	Valor-p
Empatia	0,3636	0,6742	0,0519
Realismo	0,1818	0,9816	0,2764
Agradabilidade	0,1818	1,1677	0,3084
Gentileza	0,0909	0,7006	0,3380
Competência	0,0909	0,5394	0,2942

Referindo-se   empatia, obteve-se $p = 0,0519$, o que mostra uma forte tendência   significância estatística para nível de significância $\alpha = 0,05$ (para ser considerado significativo de fato, seria desejado $p < \alpha$). Assim, temos um bom indício de que a estratégia proposta produz mais empatia do que uma estratégia que se mostra sempre amigável e extrovertida, independentemente do estado emocional.

Apesar do relativo sucesso do experimento acima relacionado, não se sabe se o resultado observado é devido ao fato de a estratégia responder às emoções do indivíduo, ou se o fato de haver alternância entre paradigmas é suficiente para tal. Além disso, devido à dificuldade em se obter grupos de voluntários que possam ser agrupados em condições controladas, não foi possível introduzir um grupo de controle em que a aplicação conservasse o paradigma *normal*. Para minimizar essa questão, escolheu-se, como controle, uma versão que permanecesse constantemente na estratégia *amigável* porque assumimos que esse paradigma tende a produzir mais intimidade e empatia que o paradigma *normal*. Entrevistas com usuários, em experimentos exploratórios, corroboraram essa premissa.

6 Conclusões

O estudo desempenhado adiciona arcabouço aos trabalhos relacionados na Seção 2, uma vez que foi produzida evidência experimental de que o nível de empatia experimentado por um humano diante de um personagem artificial é influenciado positivamente se esse agente reage ao seu estado emocional.

Em alguns estudos mais recentes, envolvendo limitação de tempo de 2 minutos e 20 segundos para usar cada versão e desafios de menor nível de dificuldade, esse resultado não se reproduziu. Esse fato leva à conclusão de que o resultado não é positivo quando o período de interação é excessivamente curto. Também temos observados alguns problemas na aplicação do reconhecedor de emoções, que   sensível a condições de iluminação. Em alguns casos, quando o público tem menos in-

timidade com equipamentos tecnológicos, os usuários seguram o *smartphone* em uma posição que não permite o total enquadramento de sua face no campo de visão da câmera frontal.

Em trabalhos futuros, pretendemos aperfeiçoar o reconhecedor de emoções, aplicando métodos multimodais no seu desenvolvimento. Além disso, temos intenção de aplicar a arquitetura afetiva proposta em sistemas mais complexos de robótica social.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), sob processo 2014/16862-4.

Agradecemos a Giampaolo Luiz Libralon, por ter gentilmente cedido o sistema para reconhecimento de emoções.

Referências

- Auer, P., Cesa-Bianchi, N. and Fischer, P. (2002). Finite-time analysis of the multiarmed bandit problem, *Machine learning* **47**(2-3): 235–256.
- Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E. and Zoghbi, S. (2009). Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots, *International journal of social robotics* **1**(1): 71–81.
- Brave, S. and Nass, C. (2002). *Emotion in human-computer interaction*, pp. 53–58.
- Darling, K., Nandy, P. and Breazeal, C. (2015). Empathic concern and the effect of stories in human-robot interaction, 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), Kobe, Japan,, pp. 770–775.
- Darwin, C., Ekman, P. and Prodger, P. (1998). *The expression of the emotions in man and animals*, Oxford University Press, USA.
- Ekman, P. (1999). Basic emotions, *Handbook of cognition and emotion* **4**: 5–60.
- Hess, U. and Thibault, P. (2009). Darwin and emotion expression., *American Psychologist* **64**(2): 120.
- Jo, D., Han, J., Chung, K. and Lee, S. (2013). Empathy between human and robot?, Proceedings of the 8th ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction, Tokyo, Japan,, pp. 151–152.
- Kahou, S. E., Pal, C., Bouthillier, X., Froumenty, P., Gülçehre, Ç., Memisevic, R., Vincent, P., Courville, A., Bengio, Y., Ferrari, R. C. et al. (2013). Combining modality specific deep neural networks for emotion recognition in video, *Proceedings of the 15th ACM on International conference on multimodal interaction*, ACM, pp. 543–550.
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H., Hawk, S. T. and van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the radboud faces database, *Cognition and Emotion* **24**(8): 1377–1388.
- Leite, I., Castellano, G., Pereira, A., Martinho, C. and Paiva, A. (2012). Modelling empathic behaviour in a robotic game companion for children: an ethnographic study in real-world settings, Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction, Boston, MA, USA,, pp. 367–374.
- Libralon, G. and Romero, R. A. (2013). Geometrical facial modeling for emotion recognition, The 2013 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Dallas, TX, USA,, pp. 1–8.
- Lucey, P., Cohn, J. F., Kanade, T., Saragih, J., Ambadar, Z. and Matthews, I. (2010). The extended cohn-kanade dataset (ck+): A complete dataset for action unit and emotion-specified expression, 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp. 94–101.
- Picard, R. W. (2000). *Affective computing*, MIT Press.
- Russell, E., Stroud, A., Christian, J., Ramgoolam, D. and Williams, A. B. (2014). Smile: A portable humanoid robot emotion interface, 9th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Workshop on Applications for Emotional Robots, HRI14, Bielefeld, Germany,, pp. 1–5.
- Russell, J. A., Lewicka, M. and Niit, T. (1989). A cross-cultural study of a circumplex model of affect., *Journal of personality and social psychology* **57**(5): 848.
- Saragih, J. M., Lucey, S. and Cohn, J. F. (2009). Face alignment through subspace constrained mean-shifts, IEEE 12th International Conference on Computer Vision, IEEE, Kyoto, Japan,, pp. 1034–1041.
- von der Putten, A. M. R., Kramer, N. C., Hoffmann, L., Sobieraj, S. and Eimler, S. C. (2013). An experimental study on emotional reactions towards a robot, *International Journal of Social Robotics* **5**(1): 17–34.